Signalübertragung, Leistungsanpassung und Lüftungsanlage

Aufgaben

1 Um Signale (Daten) zu übertragen, werden u. a. Doppelleitungen verwendet. Das vollständige elektrische Ersatzschaltbild einer Doppelleitung mit Abschlusswiderstand (Verbraucher) und Quelle zeigt die Abbildung 1 in Material 1. Neben dem ohmschen Leitungswiderstand *R* weisen alle Leitungen eine bestimmte Induktivität *L*, eine Kapazität *C* sowie eine von den isolations- und dielektrischen Verlusten herrührende Ableitung *G* auf.
In der Praxis arbeitet man allerdings, mit hinreichend guter Genauigkeit, mit dem vereinfachten elektrischen Ersatzschaltbild einer Doppelleitung. Hierbei vernachlässigt man den induktiven Anteil *L* sowie die Verluste der Ableitung *G* (Abbildung 2 – Material 1).
Von einer Doppelleitung sind folgende Materialeigenschaften bekannt:

- Leitungsmaterial Kupfer $\gamma_{\text{Cu}} = 56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$
- Leitungsquerschnitt $A = 0{,}1\,\text{mm}^2$
- Leiterabstand $d = 1\,\text{mm}$
- Dielektrizitätszahl $\varepsilon_r = 2{,}1$

Die Leitungskapazität wurde mit $C = 4\,\text{nF}$ ermittelt und berechnet sich mit der Formel

$$C_{\text{Ltg}} = \frac{\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot l}{\ln\left(\frac{d}{r}\right)}.$$

Dabei stellen ε_0 die Dielektrizitätskonstante [F/m], *l* die einfache Leitungslänge der Doppelleitung [m], *r* den Radius [m] des Einzeldrahts und *d* den Leiterabstand [mm] dar.

Bei der Bearbeitung der weiteren Aufgaben ist vom vereinfachten Ersatzschaltbild der Doppelleitung auszugehen.

1.1 Berechnen Sie den ohmschen Leitungswiderstand *R* dieser Doppelleitung.

(7 BE)

1.2 Für die Doppelleitung mit angeschlossenem Verbraucher sind folgende Werte bekannt:
$\underline{U}_1 = 5\,\text{V} \cdot e^{j0°}$, $f = 100\,\text{kHz}$, $R_A = 1\,\text{k}\Omega$.

Berechnen Sie alle komplexen Teilspannungen und Teilströme im vereinfachten Ersatzschaltbild. Zeichnen Sie die vollständigen quantitativen Zeigerdiagramme der Spannungen und Ströme.

Hinweis: Wenn Sie den Leitungswiderstand *R* in Aufgabe 1.1 nicht berechnet haben, ist mit $R = 50\,\Omega$ weiterzurechnen.

(12 BE)

1.3 Das vereinfachte Ersatzschaltbild der Datenleitung zeigt ein RC-Tiefpassverhalten. Das Frequenzverhalten bezüglich des Amplituden- und Phasengangs wird im Bode-Diagramm gezeigt.

Der Amplitudengang beschreibt das Verhältnis der Beträge $\frac{U_2}{U_1}$ und der Phasengang φ beschreibt die Verschiebung der Spannungen U_2 zu U_1.

Entwickeln Sie einen Berechnungsansatz zur Darstellung des Bode-Diagramms. Ergänzen Sie die Tabelle in Material 2, Abbildung 1, mit Rechenwerten. Skizzieren Sie das Bode-Diagramm in Material 2, Abbildung 2, mithilfe der in Abbildung 1 vorgegebenen Frequenzen.

(16 BE)

1.4 In Material 1 wurden das vollständige sowie das vereinfachte Ersatzschaltbild einer Doppelleitung gegenübergestellt.
Erklären Sie unter welchen Bedingungen das vereinfachte Ersatzschaltbild mit hinreichend guter Genauigkeit verwendet werden kann.

(3 BE)

2 Material 3 zeigt eine LC-Anpassschaltung. Diese wird in der Hochfrequenztechnik eingesetzt, um die maximale Sendeleistung einer Antenne zu erzeugen. Dazu muss der Antennenwiderstand R_a dem Innenwiderstand R_i der Signalquelle angepasst werden (Leistungsanpassung). Um auf dem Übertragungsweg nahezu keine Verluste zu erzeugen, verwendet man zur Widerstandsanpassung Blindwiderstände.

2.1 Dimensionieren Sie für die Leistungsanpassung ($\underline{Z}_i = \underline{Z}_L$) die Blindwiderstandswerte für X_L und X_C.

Hinweis: Zwei komplexe Zahlen sind gleich, wenn deren Real- und Imaginärteile gleich sind.

(10 BE)

2.2 Berechnen Sie für die Leistungsanpassung alle komplexen Teilspannungen und zeichnen Sie das vollständige, quantitative Zeigerdiagramm der Spannungen.

Hinweis: Wenn Sie die Blindwiderstände in Aufgabe 2.1 nicht ermittelt haben, ist mit $X_L = 155\,\Omega$ und $X_C = 75\,\Omega$ weiterzurechnen.

(12 BE)

3 Energieeffiziente Gebäude verfügen oftmals über eine kontrollierte Wohnraumlüftung. Dabei wird Außenluft (Zuluft) angesaugt und über einen Wärmetauscher mittels der Gebäudeabluft vorgewärmt (Material 4). Um die Außenluft effizienter nutzen zu können, werden zwei Luftwege verlegt, einerseits eine direkte Ansaugung und andererseits der Weg über ein Erdrohr.
Die Umschaltung der Luftwege erfolgt über eine Bypassklappe mit Stellmotor.
Das Erdrohr kühlt im Sommer sehr warme Luft ab und wärmt im Winter die Luft vor.
Bei einer Zulufttemperatur <8°C und >21°C wird die Luft über das Erdrohr geführt, ansonsten wird sie direkt angesaugt.
Der Stellmotor übernimmt dabei folgende Funktionen:

- Der Stellmotor M in der Bypassklappe öffnet im Rechtslauf das Erdrohr (Relais Q1) und verschließt somit die direkte Ansaugung. Im Linkslauf (Relais Q2) verschließt er das Erdrohr und stellt somit die direkte Ansaugung der Außenluft her.
- Der Stellmotor schaltet sich beim Erreichen der Endlagen selbstständig ab.
- Die Fahrzeit des Stellmotors M beträgt ca. 30 Sekunden.

Die Temperatur wird mit einem Platin-Temperatursensor PT1000 in Zweileitertechnik gemessen (Material 4 und 5). Dieser verhält sich im Bereich von -20°C bis 50°C annähernd linear und kann mit folgender Gleichung hinreichend genau beschrieben werden, wobei der Widerstand R_T der Warmwiderstand [Ω] bei veränderter Temperatur ist und ΔT die Temperaturveränderung [°C] beschreibt:

$$R_T = R_{0°C} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T), \text{ mit } R_{0°C} = 1000\,\Omega,\ \alpha = 0{,}003903\frac{1}{K}$$

Um eine Eigenerwärmung des Temperatursensors zu vermeiden, soll der Sensor nur dann an Spannung geschaltet werden, wenn Messwerte aufgenommen werden.
Die Messwertaufnahme soll jede zweite Minute erfolgen und zwar für die Messdauer von einer Minute. Innerhalb dieser Minute ist alle 10 Sekunden ein Messwert aufzunehmen, wobei die erste Messwertaufnahme nach einer Wartezeit von 10 Sekunden erfolgen soll. Aus diesen sechs Messwerten soll dann ein Mittelwert gebildet werden, um Messtoleranzen auszugleichen. Aufgrund des Mittelwerts entscheidet dann die Steuerung, ob die Luft direkt oder über das Erdrohr angesaugt werden soll.
Der Messwiderstand $R_{mess} = 1\,k\Omega$ ist als hochpräzise und temperaturunabhängig anzunehmen.
Das Mikrocontrollersystem verfügt über einen 10-Bit-Analog-Digital-Wandler.

3.1 In Material 5 sind zu den Relaisspulen parallel geschaltete Dioden (R1 und R2) gezeigt. Nennen Sie den Fachbegriff für diese Dioden und geben Sie die Aufgabe dieser Dioden an.

(5 BE)

3.2 Die Schalttransistoren BC 337 (Material 5 und Material 6) sind mit den Basisvorwiderständen R_3 und R_4 verschaltet. Die Relais Q1 und Q2 haben einen Spulenstrom von 30 mA und das Verhältnis I_C / I_B ist für den Schaltverstärker mit 10 anzunehmen.
Bestimmen Sie die Basisvorwiderstände und wählen Sie einen Widerstand aus der Normreihe E24 (Material 7) aus.

(6 BE)

3.3 In Material 8 ist ein unvollständiger Programmcode der Lüftungsanlage zu finden.

3.3.1 Implementieren Sie die Prozedur `temperaturberechnung()`, die aus der Messwertaufnahme `(messwertmittel)` des PT-1000-Sensors eine Temperatur `(temperatur)` in °C ausgibt.

(6 BE)

3.3.2 Implementieren Sie den fehlenden Programmcode, sodass die Lüftungsanlage die vorgegebene Funktion erfüllt.

Hinweis: Das Abschalten des Stellmotors M beim Erreichen der Endlagen muss nicht programmiert werden.

(11 BE)

3.4 Berechnen Sie die Auflösung der Eingangsspannung am Messwiderstand R_{mess} in [$^{\text{mV}}/_{\text{°C}}$] sowie die Auflösung des 10-Bit-Analog-Digital-Wandlers in [$^{\text{mV}}/_{\text{Bit}}$]. Bewerten Sie die Praxistauglichkeit der Messwertaufnahme in diesem Anwendungsbeispiel und zeigen Sie, sofern notwendig, eine Verbesserungsmöglichkeit der Messwertaufnahme auf.

(12 BE)

Material 1

Elektrische Ersatzschaltbilder einer Doppelleitung

Abbildung 1: Vollständiges Ersatzschaltbild der Doppelleitung

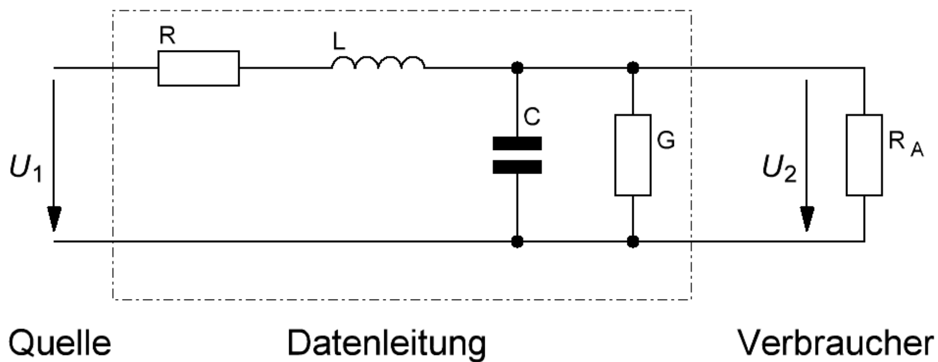
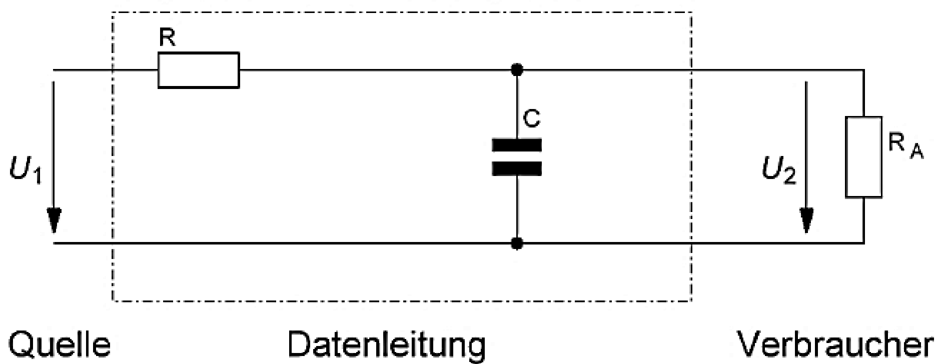


Abbildung 2: Vereinfachtes Ersatzschaltbild der Doppelleitung



Material 2

Bode-Diagramm

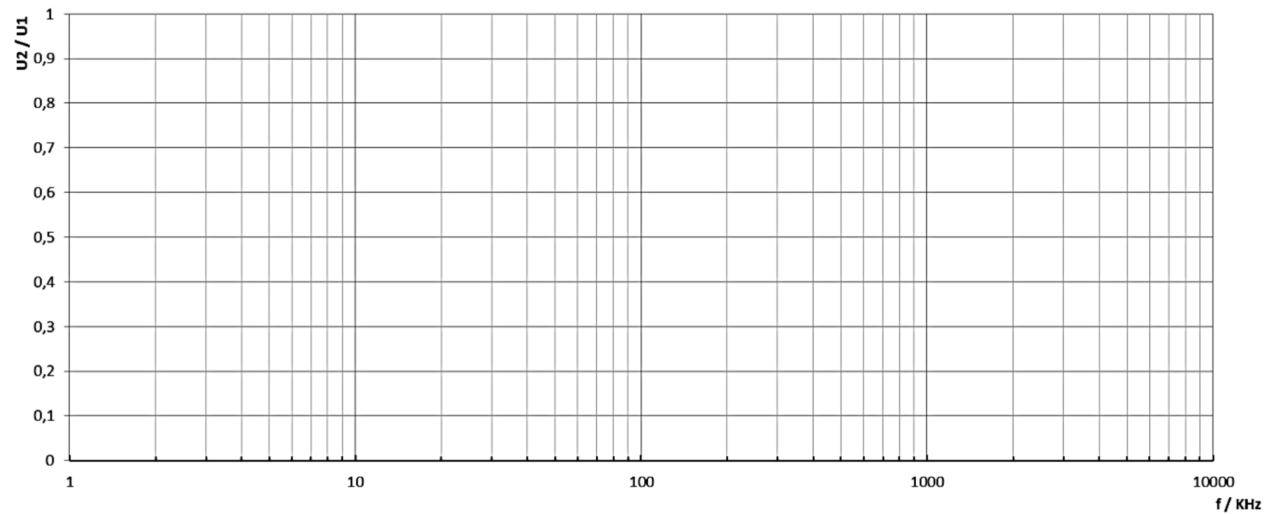
Abbildung 1: Zu ergänzende Tabelle

f / Hz	$1 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^6$	$10 \cdot 10^6$
U_2 / U_1	0,96				0,094
φ / °	-0,06				-84,4

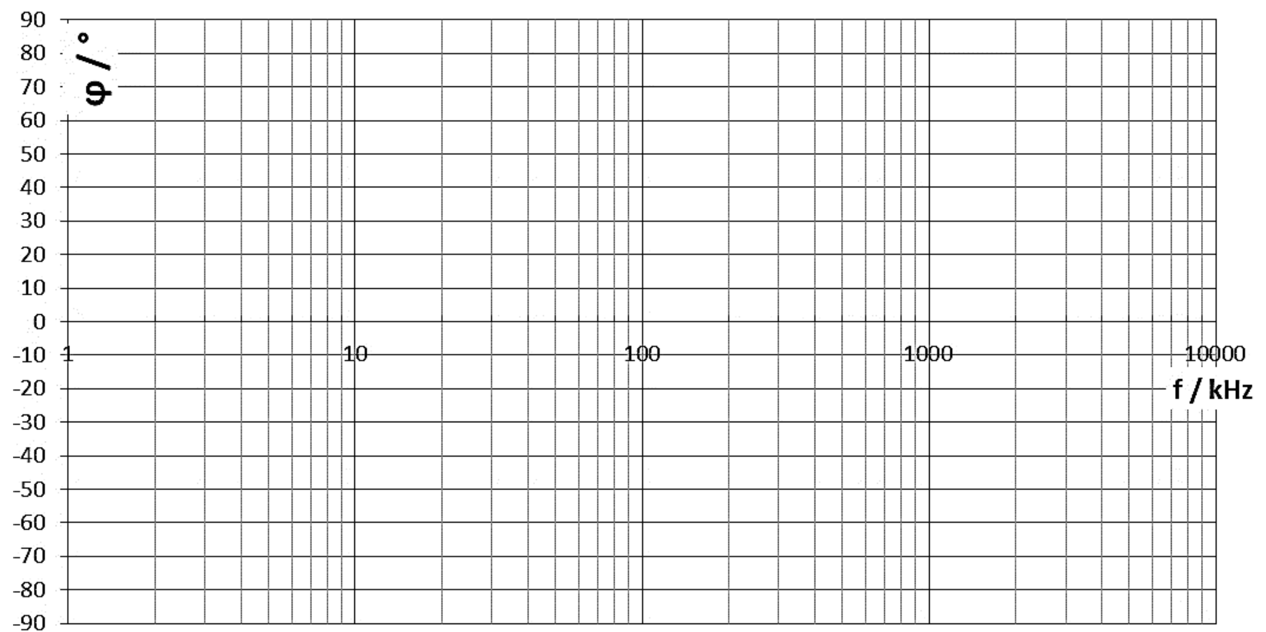
Material 2 (Fortsetzung)

Abbildung 2: Amplituden- und Phasengang

Amplitudengang

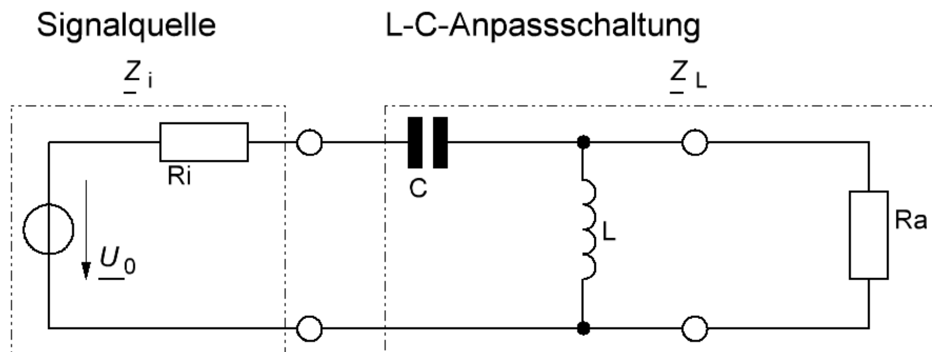


Phasengang



Material 3

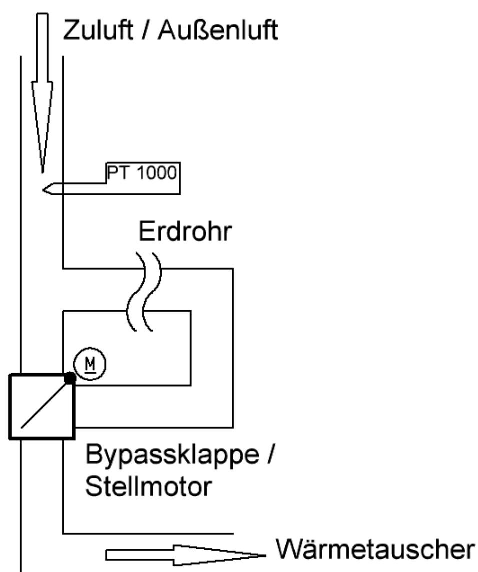
LC-Anpassschaltung



$\underline{U}_0 = 24\,\text{V}$
$R_i = 80\,\Omega$
$R_a = 160\,\Omega$

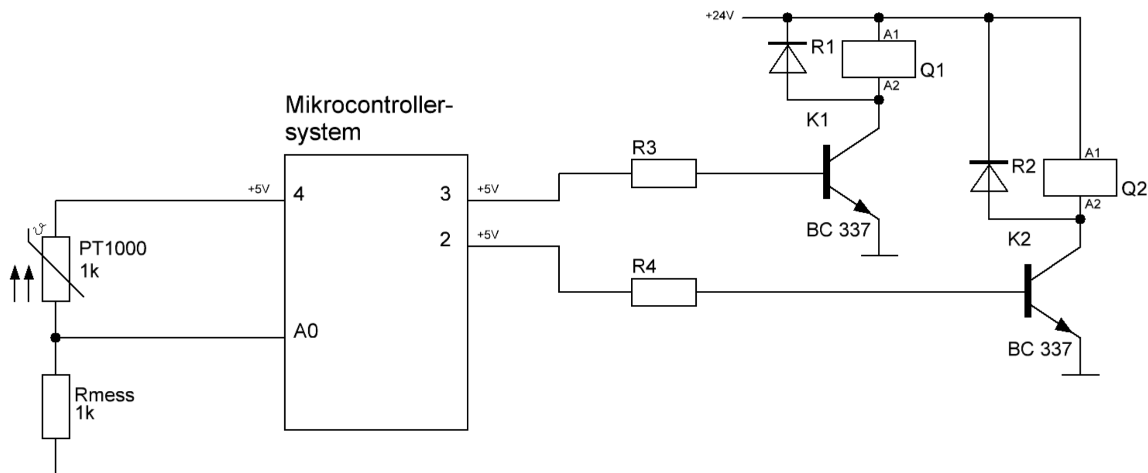
Material 4

Technologieschema der Lüftungsanlage



Material 5

Beschaltung des Mikrocontrollersystems



Material 6

Datenblattausschnitt BC 337

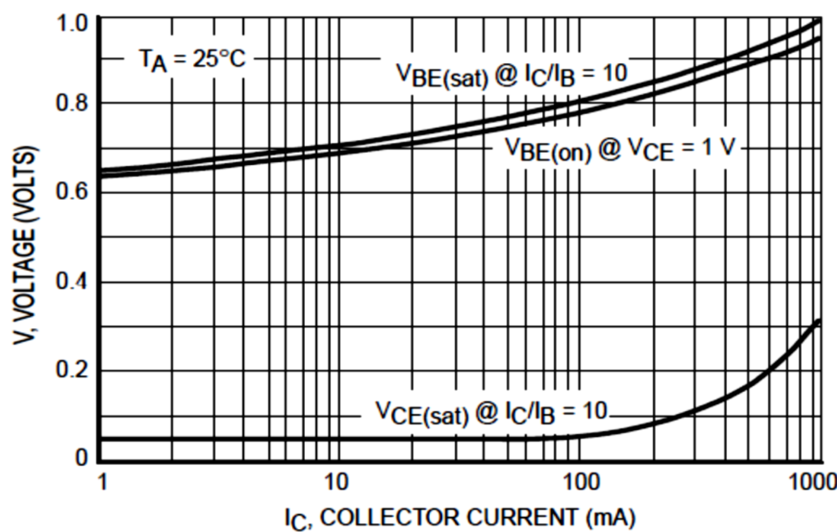


Figure 5. "On" Voltages

pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/motorola/BC338-16.pdf (abgerufen am 11.10.2020).

Material 7

E24 - Normreihe

1,0	**1,2**	**1,5**	**1,8**	**2,2**	**2,7**	**3,3**	**3,9**	**4,7**	**5,6**	**6,8**	**8,2**
1,1	**1,3**	**1,6**	**2,0**	**2,4**	**3,0**	**3,6**	**4,3**	**5,1**	**6,2**	**7,5**	**9,1**

Material 8

Programmcode (unvollständig) der Lüftungsanlage

```
const int erdrohr = 3;
const int direkt = 2;
const int messen = 4;
int messwertmittel; // speichert die Mittelwertbildung der sechs Messaufnahmen
float temperatur;   // speichert den ausgegebenen Temperaturwert

void setup() {
  pinMode(erdrohr, OUTPUT);
  pinMode(direkt, OUTPUT);
  pinMode(messen, OUTPUT);
}
void reset(){
  digitalWrite(erdrohr, LOW);
  digitalWrite(direkt, LOW);
  digitalWrite(messen, LOW);
  delay(1000);
}
void temperaturberechnung(){

Hier fehlt Programmcode: Aufgabe 3.3.1

}

void loop() {
  reset();

Hier fehlt Programmcode: Aufgabe 3.3.2

}
```